



Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС»

«Утверждаю»

Проректор по науке и инновациям,
проф., д.т.н.



Филонов М. Р.

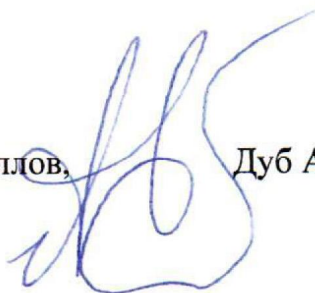
20.16.2016

Заключение № 035/16-503-1

**«Исследование коррозионной стойкости и долговечности
фасадных и рамных анкеров, изготовленных из углеродистых
и коррозионностойких сталей с различными видами
антикоррозионных покрытий»**

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель, заведующий
кафедрой металлургии и защиты металлов,
проф., д.т.н.



Дуб Алексей Владимирович

Ответственный исполнитель,
научный сотрудник



Волкова Ольга Владимировна

Исполнители:

зав. лабораторией МЗМ



Обухова Татьяна Анатольевна

доцент, к.х.н



Сафонов Иван Александрович

научный сотрудник



Шевейко Ольга Владимировна

научный сотрудник



Ковалев Александр Федорович

Заявитель	ООО «ПТО «Тех-КРЕП»
Основание для проведения испытаний	Договор № 035/16-503 от 11 июля 2016 г.
Акт отбора образцов	от 08.08.2016
Дата проведения испытаний	начало 10 ноября 2016 г. окончание 10 декабря 2016 г
Задачи испытаний	Определение качества и оценка устойчивости к атмосферной коррозии фасадных и рамных анкеров из коррозионностойких и углеродистых с различными видами цинковых покрытий сталей.
Испытательное оборудование	- камера влажности; - камера сернистого газа; - камера соляного тумана; - оптико-эмиссионный анализатор металлов «Bruker Elemental» - бинокулярный микроскоп МБС-200; - металлографический комплекс «Альтами МЕТ».
Образцы	Распорные элементы из: 1. Углеродистой стали с цинковыми покрытиями: - электролитическим; - «горячим»; - термодиффузионным. 2. Коррозионностойких сталей.
Нормативные документы	1. ГОСТ 9.307–89 «ЕСЗКС. Покрытия цинковые горячие. Общие требования и методы контроля» 2. ГОСТ Р 9.316 «ЕСЗКС. Покрытия термодиффузионные цинковые». 3. ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов, категории, условия эксплуатации в части воздействия климатических факторов» внешней среды» 4. Свод правил СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии» (актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85).
Результаты исследований	Заключение № 035/16-503-1

На исследование поступили крепежные элементы, изготовленные из коррозионностойких и углеродистых оцинкованных сталей (табл.1).

Отбор образцов проводился представителями Заказчика в соответствии с актом отбора образцов от 08.08.16.

Таблица 1

Область применения	Наименование	Материал и тип защитного покрытия
Распорный элемент	TSX	Гальваническое цинковое покрытие. Горячее цинковое покрытие Термодиффузионное цинковое покрытие >25мкм Термодиффузионное цинковое покрытие >50мкм Коррозионностойкая сталь А4

Цель работы: оценить качество и коррозионную стойкость материалов крепежных элементов при эксплуатации в средах слабой и средней степени агрессивности.

При исследовании были выполнены следующие работы:

- спектральный анализ;
- ускоренные коррозионные испытания;
- анализ внешнего состояния поверхностей деталей;
- металлографический анализ.

Проведение ускоренных коррозионных испытаний

Ускоренные испытания проводились в течение 30 суток в климатических камерах, имитирующих среды со степенями агрессивности в соответствии с ГОСТ 9.308-85:

- в камере влажности, имитирующей слабоагрессивную среду (при относительной влажности 98% и температуре в камере 40⁰ С);
- в камере сернистого газа, имитирующей среднеагрессивную среду (при относительной влажности 98%, температуре в камере 40⁰ С и воздействии SO₂);
- в камере соляного тумана, имитирующей среднеагрессивную среду с хлоридами (периодическое распыление 3% -ного раствора NaCl при относительной влажности 98% и температуре в камере 40⁰ С).

Материалы исследования

Коррозионностойкая сталь. В результате спектрального анализа установлено, что материал исследуемых анкеров TSX PRO A4 (рис.1), взятых выборочно, соответствует коррозионностойкой аустенитной стали марки A4 по DIN (03X17H14M2 по ГОСТ 5632-72 «Стали высоколегированные и сплавы. Коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки»).

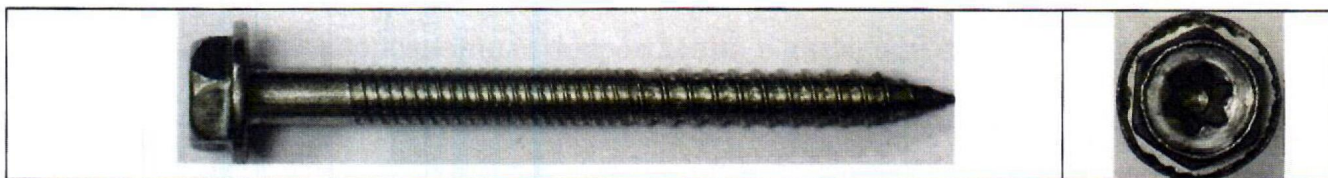


Рис. 1. Внешний вид анкеров TSX PRO A4 в состоянии поставки.

Состав стали и результаты спектрального анализа приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Марка стали	Содержание в % по массе										
	Fe	C	Si	Mn	Cr	S	P	Mo	Ni	W	Cu
TSX PRO A4	основа	0,036	0,367	0,704	16,81	0,010	0,016	1,856	10,36	1,273	0,156
A4 (DIN)	основа	<0,08	<1,0	<2,0	16-18	0,03	0,05	2-2,5	10-14	-	-

Оцинкованная сталь. Исследование внешнего состояния поверхностей деталей во время и после испытаний проводилось визуально и методом оптической фрактографии с использованием бинокулярного микроскопа МБС-200.

Анкеры с электролитическим цинковым покрытием. В результате анализа установлено, что после испытаний в камере влажности на поверхностях деталей (рис.2) наблюдаются локальные пятна белого цвета, свидетельствующие о коррозии цинкового покрытия в начальной стадии, площадь которых составляет не более 5 %.



Рис. 2. Внешний вид анкеров с гальваническим цинковым покрытием с голубой (а) и радужной (б) пассивацией после испытаний в камере влажности.

Металлографический анализ проводили с целью определения толщины и качества покрытий, а также оценки глубины и характера коррозионных повреждений. Шлифы приготовлены в продольном и поперечном сечениях деталей.

В результате анализа установлено, что **гальваническое цинковое покрытие** равномерно как на резьбовой, так и на цилиндрической частях. Толщина защитного слоя составляет 10-12 мкм (рис.3). После испытаний в камере влажности в течение 30 суток коррозионных повреждений в цинковом слое не выявлено.

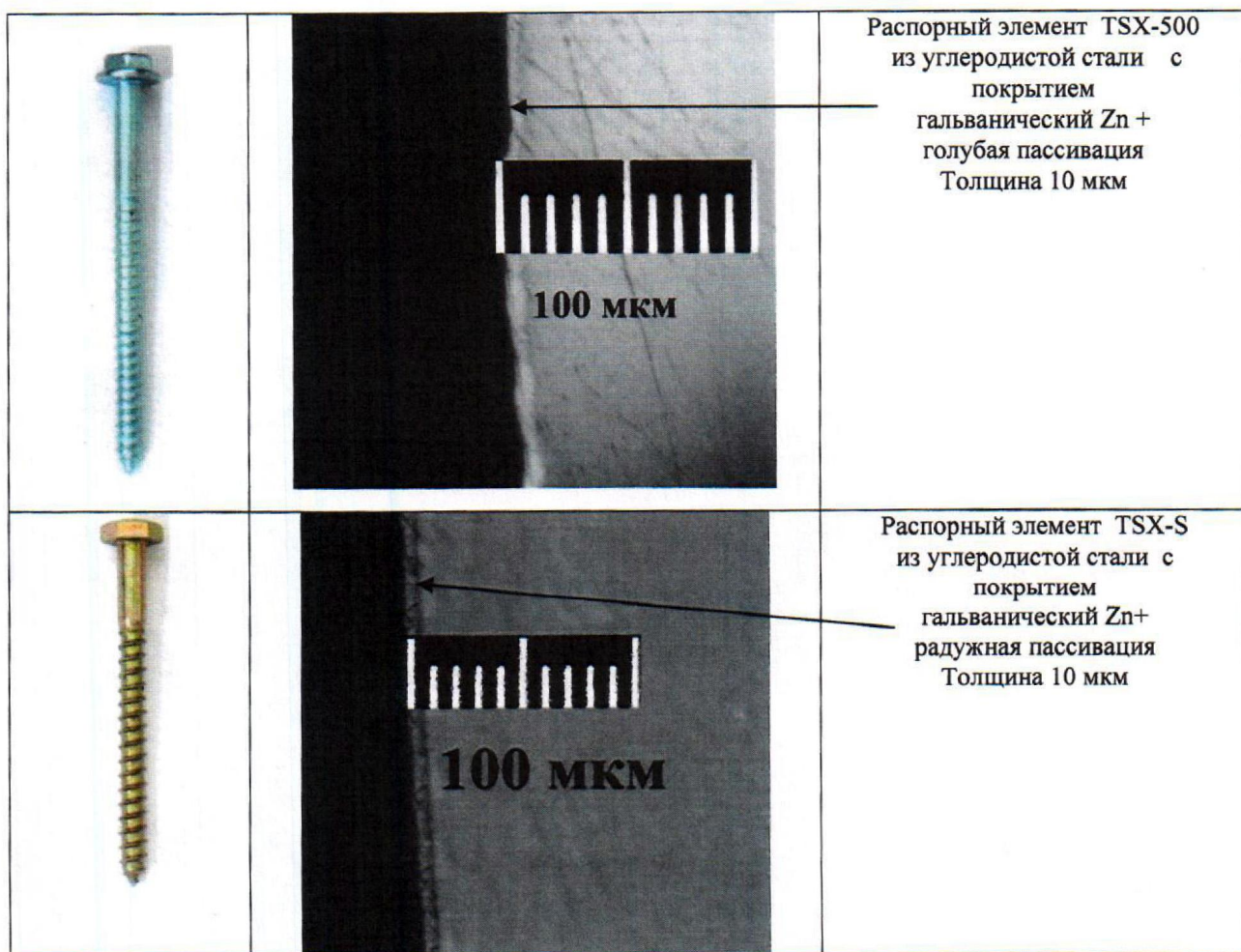


Рис.3. Состояние материалов анкеров с гальваническим цинковым покрытием после испытаний в камере влажности в течение 30 суток.

Анкеры с горячим цинковым покрытием. В результате анализа внешнего вида установлено, что горячее цинковое покрытие светло-серого цвета, без наплывов, механических включений и без видимого рисунка кристаллизации, что соответствует требованиям ГОСТ 9.307–89 «ЕСЗКС. Покрытия цинковые горячие. Общие требования и методы контроля».



После испытаний в течение 30 суток в *камере влажности* (рис.4 а) на поверхностях деталей выявлено незначительное помутнение в виде тонкого белого налета, типичного для коррозии цинка в начальной стадии. После выдержки в *камерах сернистого газа* (рис.4 а) и *соляного тумана* (рис.4 б) на головках и цилиндрических частях анкеров выявлен сплошной белый налет. Кроме вышеуказанных повреждений в камере соляного тумана на резьбовой части наблюдаются локальные пятна белого цвета с объемными продуктами коррозии цинка.



Рис. 4. Внешний вид распорных элементов анкеров с горячим цинковым покрытием после испытаний в камерах влажности (а), сернистого газа (б) и соляного тумана (в).

В результате металлографического анализа установлено, что толщина покрытия на распорных элементах анкеров составляет 45-50 мкм (рис.5а). Анализ шлифов показал, что после испытаний в камере влажности коррозионных повреждений не зафиксировано (рис.5б), после выдержки в атмосфере соляного тумана в цинковом слое выявлена равномерно-язвенная коррозия глубиной до 20 мкм (рис.5в).



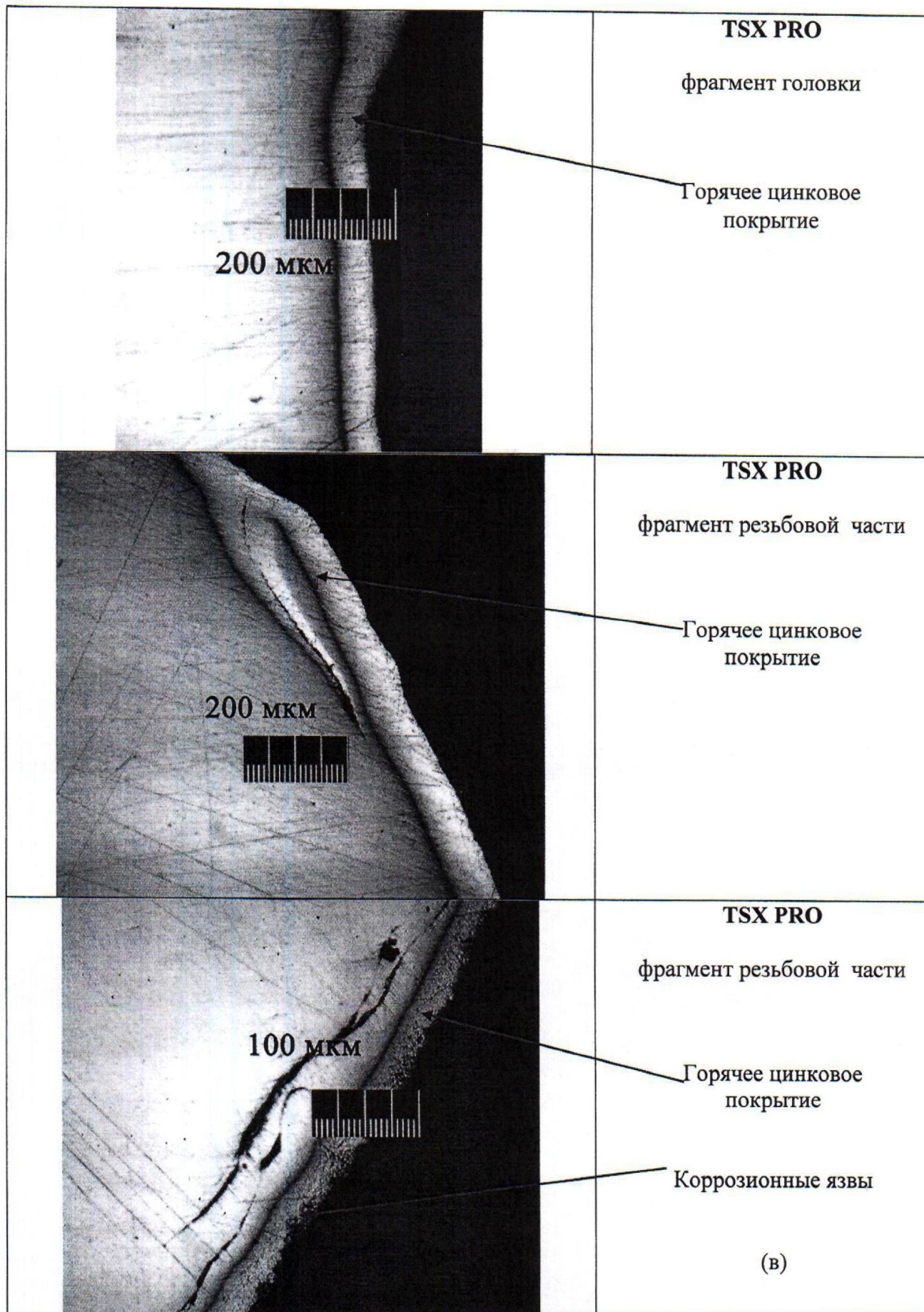


Рис.5. Состояние материалов анкеров TSX PRO с горячим цинковым покрытием в состоянии поставки (а) и после испытаний в камерах влажности (б) и соляного тумана (в) в течение 30 суток.



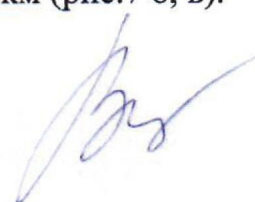
Анкеры с термодиффузионным цинковым покрытием. Термодиффузионное покрытие на анкерах в состоянии поставки темно-серого цвета, равномерное, гладкое, без признаков нарушения сплошности, что соответствует требованиям ГОСТ 9.316–2006 «ЕСЗКС. Покрытия термодиффузионные цинковые. Общие требования и методы контроля».

После испытаний в камере влажности (рис.6а) на деталях выявлено незначительное помутнение поверхностей. После выдержки в камере сернистого газа (рис.6 б) на поверхностях анкеров обнаружен сплошной белый налет; после воздействия соляного тумана (рис.6 в) – тонкий белый налет и локальные пятна с объемными продуктами коррозии цинка.

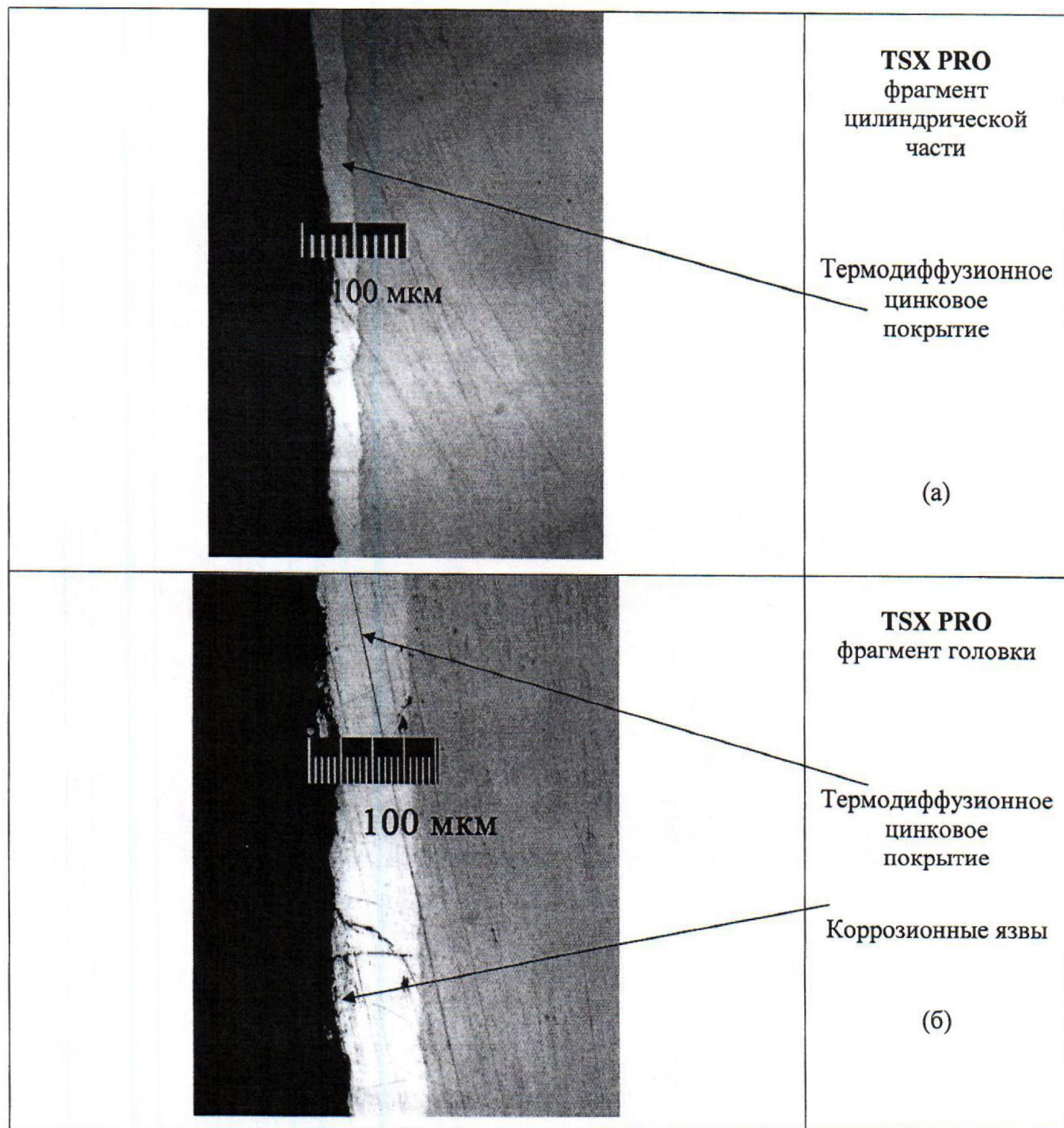


Рис. 6. Внешний вид анкеров с термодиффузионным цинковым покрытием после испытаний в камерах влажности (а), сернистого газа (б) и соляного тумана (в).

В результате металлографического анализа установлено, покрытие на исследуемых деталях равномерное как на резьбовых, так и на цилиндрических частях, толщина которого составляет 25-30 мкм (рис.7 а) и 60-100 мкм (рис.7 б, в).



После испытаний в камере сернистого газа в защитном слое выявлены коррозионные язвы глубиной до 10 мкм (рис.7 б), после выдержки в камере соляного тумана в материале деталей обнаружена равномерно-язвенная коррозия глубиной до 15 мкм (рис.7 в).



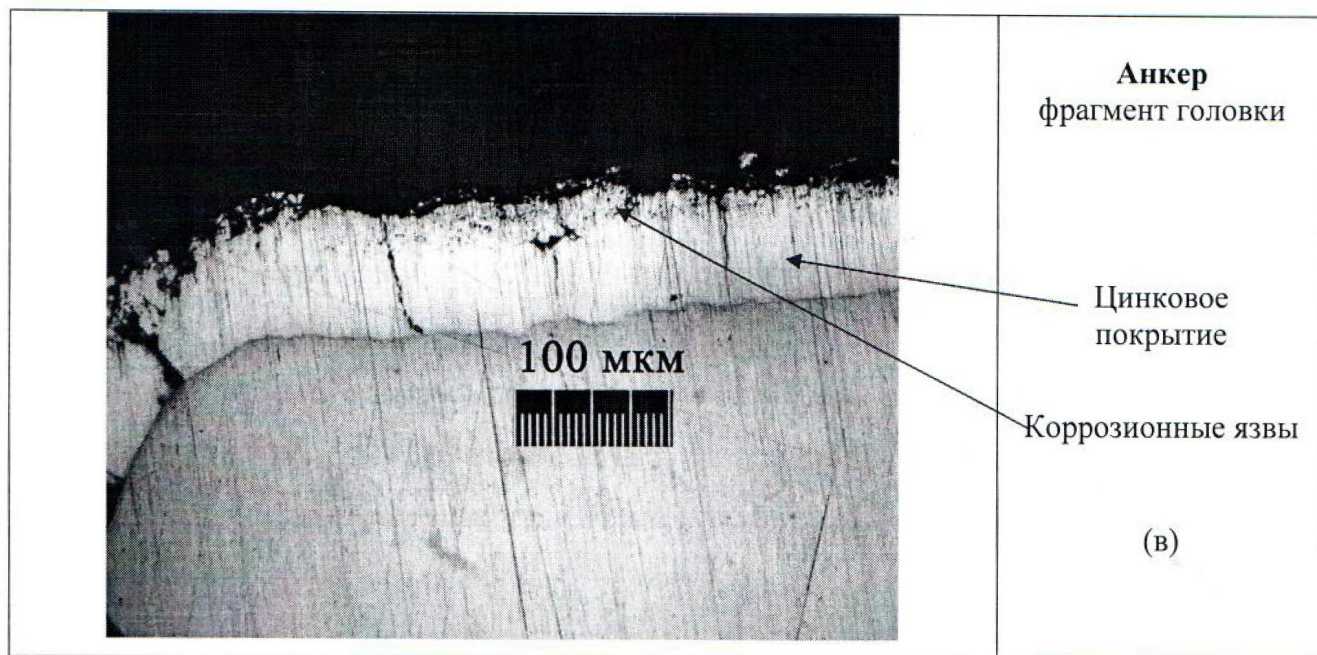



Рис.7. Состояние материалов анкеров с термодиффузионным цинковым покрытием после испытаний в камере влажности (а), сернистого газа (б) и соляного тумана (в).

Анализ результатов исследования

В результате исследований фасадных и рамных анкеров проведена оценка коррозионной стойкости и долговечности деталей при эксплуатации в средах слабой и средней степеней агрессивности. При анализе были проведены ускоренные коррозионные испытания по ГОСТ 9.308-85 в камерах влажности, сернистого газа и соляного тумана с целью оценки защитных свойств и скорости коррозии цинковых покрытий. Оценка состояния деталей производилась методами визуального и металлографического анализов с применением бинокулярного микроскопа Альтами-МЕТ.

Анкеры, изготовленные из коррозионностойкой стали А4, устойчивы при эксплуатации в средах слабой и средней агрессивности. Высокая коррозионная стойкость сталей А4 объясняется высоким содержанием хрома (от 16 до 19 %), который на поверхности деталей образует защитную пассивную пленку. Стали после закалки имеют однородное строение аустенита. Молибден, входящий в состав сталей, повышает устойчивость пассивного состояния и обеспечивает более высокую стойкость аустенитных сталей в хлоридсодержащих средах.

Гальваническое покрытие относительно устойчиво в неагрессивных и слабоагрессивных атмосферах. Толщина исследуемого слоя составляет 10 мкм, для повышения атмосферостойкости и улучшения внешнего вида деталей применена голубая и радужная пассивации. После испытаний в камере влажности на поверхностях дета-

лей выявлено локальное помутнение защитного слоя. Скорость атмосферной коррозии исследованного покрытия в слабоагрессивных средах (под навесом) составит не более 1 мкм/год. Учитывая возможность капельной конденсации влаги и, следовательно, язвенного повреждения цинка, можно прогнозировать сохранение защитной способности цинкового покрытия в течение порядка 20 лет.

Горячее цинковое покрытие устойчиво в слабоагрессивных атмосферах. На поверхностях анкеров с «горячим» цинковым покрытием после испытаний в камерах сернистого газа и соляного тумана выявлен сплошной белый налет продуктов коррозии цинка. В результате металлографического анализа установлено, что толщина покрытия составляет не менее 45 мкм. После испытаний в каждой из коррозионно-агрессивных атмосфер в покрытии выявлены коррозионные повреждения глубиной до 20 мкм. Высокая коррозионная стойкость исследуемых деталей обусловлена тем, что во время эксплуатации на покрытии образуются продукты коррозии цинка, создающие барьерный эффект, тормозящие развитие коррозионного процесса и препятствующие разрушению слоя защитного покрытия. Пленка, образующаяся на поверхности цинка, определяет конечную скорость течения процесса коррозии, идущего с торможением во времени.

Термодиффузионное покрытие представляет собой цинко-железистый сплав, который обладает более высокой коррозионной стойкостью, чем горячие и гальванические цинковые покрытия. На поверхностях анкеров с термодиффузионным цинковым покрытием после испытаний в камерах сернистого газа и соляного тумана выявлен тонкий белый налет продуктов коррозии цинка. При оценке скорости коррозии принято, что толщина слоя на деталях составляет не менее 45 мкм и не менее 25 мкм.

Оценка скорости коррозии с учетом полученных экспериментальных результатов позволяет установить, что в средах средней агрессивности (в соответствии со Сводом правил СП 28.13330.2012) скорость коррозии горячего и термодиффузионного цинковых покрытий под навесом составляет 2-3 мкм/год и 1-2 мкм/год соответственно (при расчете скорости коррозии принято, что 30 суток непрерывных испытаний в специальных атмосферах соответствуют 15 годам реальной эксплуатации в среде средней агрессивности).

Аппроксимация коррозионного поражения на длительный срок эксплуатации позволяет установить, что оценка относительной долговечности стальных элементов

с покрытиями гальванический (не менее 10 мкм), горячий (не менее 45 мкм) и термодиффузионный (не менее 25 мкм) в средах слабой агрессивности составит порядка 20 лет (для гальванического покрытия) и 50 лет (для горячего и термодиффузионного покрытия соответственно). Для анкеров с покрытием термодиффузионный цинк толщина которого составляет 50-60 мкм срок службы в среднеагрессивных средах срок составит порядка 50 лет.

Выводы

1. В результате проведенных испытаний и оценки качества покрытий на деталях установлено, что фасадные и рамные анкера **TSX** с:

- гальваническим цинковым покрытием, толщина которого составляет 10-12 мкм, относительно устойчивы к коррозии и могут эксплуатироваться в неагрессивных и слабоагрессивных средах сроком до 20 лет;
- горячим цинковым покрытием, толщина которого составляет не менее 45 мкм, и с термодиффузионным цинковым покрытием, толщина которого составляет не менее 25 мкм, устойчивы к коррозии и могут эксплуатироваться в средах слабой агрессивности сроком до 50 лет;
- термодиффузионным цинковым покрытием, толщина которого составляет не менее 50 мкм, устойчивы к коррозии и могут эксплуатироваться в слабоагрессивных и среднеагрессивных промышленных (при повышенной влажности и (или) содержании сернистого газа) и приморских (при повышенной влажности и содержании хлоридов) средах сроком до 50 лет.

2. Фасадные и рамные анкера **TSX**, изготовленные из коррозионностойкой стали **A4** устойчивы к коррозии и рекомендуются для эксплуатации в слабоагрессивных и среднеагрессивных промышленных (при повышенной влажности и (или) содержании сернистого газа) и приморских (при повышенной влажности и содержании хлоридов) средах сроком до 50 лет.

3. Анализ результатов и выводы относятся только к испытанным деталям без учета воздействия других элементов строительных конструкций, для крепления которых они предназначены.

Брошировано и пронумеровано

13 стр.

